

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2013

Vojtěch Blažej

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

**Optimalizace výrobního procesu vyfukování s dloužením při výrobě PET
lahví**

**Optimisation of production procedure of blowing with stretching in the
production of PET bottles**

Vojtěch Blažej

KSP – TP – B

Vedoucí diplomové práce: Ing. Aleš Ausperger, Ph.D. - TUL

Konzultant diplomové práce: Jaroslav Mencl, Epicos s.r.o., Liberec

Rozsah práce a příloh:

Počet stran:	53
Počet tabulek:	1
Počet příloh:	4
Počet obrázků:	48

Datum: 28. března 2013

ANOTACE
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: B2341 – Strojírenství

Student: Vojtěch Blažej

Téma práce: **Optimalizace výrobního procesu vyfukování s dloužením při výrobě PET lahví.**

Optimisation of production procedure of blowing with stretching in the production of PET bottles.

Číslo BP: KSP – TP – B

Vedoucí diplomové práce: Ing. Aleš Ausperger, Ph.D. - TUL

Konzultant diplomové práce: Jaroslav Mencl, Epicos s.r.o., Liberec

Abstrakt: Práce shrnuje informace o výrobě PET lahví, o materiálu PET, jeho vlastnostech a technologii vyfukování s dloužením a vstřikováním PET preforem. Podrobněji se zabývá cyklem výfuku a vlivem nastavení jednotlivých parametrů na kvalitu výrobku.

V práci je obsažen také celý výrobní proces včetně logistiky a kontroly zmetkovitosti a obsahuje návrh nastavení parametrů výfuku a vylepšení technologických podmínek, které by vedly ke snížení zmetkovitosti při výrobě

Abstract: The main goal of the thesis is to summarize information about the PE bottles 'production process, about the PE material, it's characteristics, about the blowing-with-stretching technology and injection of PE pre-forms. Particularly it deals with the exhaust cycle and also with the influence of different parameters' settings over the product's quality.

The thesis also contains the whole production process (including the logistics and the scrap-monitoring)

Last but not least, the thesis proposes parameters' settings and improvements of technological conditions so that the number of the scrap decreases

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci
vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 28. března 2013

.....

Vojtěch Blažej

Pražská 11/13

Liberec III

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Aleši Auspergerovi, Ph.D. za pomoc, cenné rady a připomínky.

Děkuji také vedení společnosti Epicos export import spol. s r.o. za získané praktické vědomosti a za možnost zpracování bakalářské práce v jejich výrobě.

Dále bych chtěl poděkovat konzultantovi bakalářské práce panu Jaroslavu Menclovi za poskytnutou pomoc a věcné rady.

Též děkuji panu Zdeňku Bínovi za pomoc při vzorkování a zkoušení zvoleného nastavení.

V neposlední řadě také děkuji rodičům za velkou trpělivost a podporu při mém studijním úsilí.

Vojtěch Blažej

Obsah

1 Úvod	10
2 Teoretická část	
2.1 Plasty	11
2.2 PET (Polyethylentereftalát)	12
2.3 Recyklace PET	13
2.3.1 Recyklát a regranulát	14
2.3.2 Stroje pro zpracování recyklátu	15
2.3.3 Vliv použití recyklátu na kvalitu PET lahve	16
2.4 Technologie zpracování plastů	16
2.4.1 Tvářecí technologie	17
2.4.2 Tvarovací technologie	17
2.4.3 Doplnkové technologie	17
2.5 Výroba PET preforem	17
2.5.1 Technologie vstřikování PET	18
2.6 Technologie vyfukování s dloužením	19
2.6.1 Vyfukovací stroje	20
2.6.2 Formy pro vyfukování	20
2.6.3 Pracovní cyklus	22
2.6.4 Vnější vlivy	23
2.6.5 Externí zařízení	23
2.7 Zkoušení PET lahví pro drogistické účely	24
2.8 Skladovací podmínky	24
2.9 Vady PET lahví	24

2.10	O firmě Epicos	25
3	Experimentální část	
3.1	Faktory ovlivňující výrobu	27
3.1.1	Kvalita preforem	27
3.1.2	Lidský faktor	28
3.1.3	Nastavení vyfukovacího stroje	28
3.2	Parametry nastavení stroje	28
3.2.1	Nastavení dlužícího trnu	29
3.2.2	Nastavení výkonu topných zón	29
3.2.3	Nastavení zpoždění otevření ventilu s předvýfukovým vzduchem...	31
3.2.4	Nastavení doby chlazení	31
3.2.5	Nastavení rychlosti dloužení	31
3.2.6	Nastavení teploty pro spínání ventilace pece	32
3.2.7	Nastavení výfukového a předvýfukového tlaku vzduchu	32
3.3	Sledování zmetkovitosti	32
3.4	Vzorkování a vlastní postup	33
3.4.1	Vzdálenost konečné pozice dlužícího trnu ke dnu formy.....	33
3.4.2	Jednotlivá nastavení výkonu topných zón	36
3.4.3	Nastavení zpoždění otevření ventilu s předvýfukovým vzduchem...	44
3.4.4	Nastavení doby chlazení lahve uvnitř formy	46
3.4.5	Zkoušení nastavení a analýza příčiny nekvalitních výrobků při novém nastavení v praxi	48
4	Závěr	50
5	Seznam použité literatury	52
	Přílohy	53

Seznam použitých zkratk a symbolů

Zkratka / Symbol	Jednotka	Popis
PET	[-]	Polyethylentereftalát
PP	[-]	Polypropylen
PE	[-]	Polyethylen
V	[-]	Jednotka el. napětí volt
h	[mm]	Vzdálenost konečné pozice trnu ode dna formy
tz	[s]	Doba zpoždění otevření předvýfukového vzduchu
Tch[s]	Doba chlazení	
Ppm	[-]	Partes per milion

1 Úvod

Plasty již neodmyslitelně patří k našim běžným životům. Jejich použití zasahuje téměř do všech druhů produkcí. V současné době již lze z plastů získat mnoho specifických vlastností a vývoj jde v tomto ohledu stále dopředu. Plasty jsou pevné, lehké, dobře tvárné, mají výborné izolační vlastnosti, dají se barvit a je poměrně snadné s nimi vyrábět tvarově složité díly.

Tato práce se věnuje pouze jednomu druhu plastů z rodiny polyesterů, tedy polyethyletereftalátu, který je znám pod zkratkou PET. Z tohoto polymeru se totiž vyrábějí lahve pro drogistické zboží ve firmě Epicos.

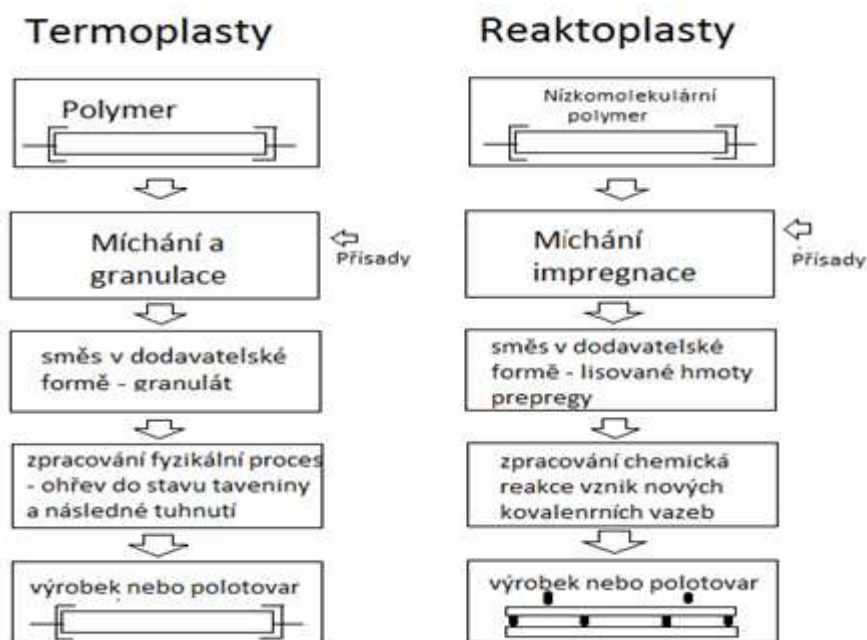
Důvodem vzniku této bakalářské práce se stalo vznesení požadavku ze strany vedení společnosti na zkvalitnění výroby a odstranění vzniku vadných lahví EP 15, které za stávajícího nastavení způsobuje zmetkovitost cca 1,4%, což je na poměry firmy příliš. Cílem práce je dosažení snížení zmetkovitosti pod 1%.

Cílem bakalářské práce je navržení vhodného nastavení stroje za účelem snížení zmetkovitosti.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Plasty

Plasty jsou známy pod názvem plastické hmoty. Označují mnoho syntetických nebo polosyntetických polymerních materiálů. První umělý materiál vynalezl Angličan Alexander Parkes v roce 1855 a jednalo se o umělou slonovinu, chemický nitrát celulózy. Jejich masivnější vývoj přišel ve 30. letech 20. století, a tím byl i objeven obrovský potenciál polymerních materiálů. Po 2. světové válce se tak plasty dostávají k běžnému použití v mnoha výrobcích jako levná alternativa dřeva, oceli nebo skla i jiných materiálů. Plasty tvoří z větší části organické makromolekulární látky (polymery). Mimo ty ještě obsahují aditiva (přísady), kterými lze získat specifické vlastnosti. Dle zpracovatelnosti po ohřátí se plasty dělí na termoplasty a reaktoplasty (termosety). Termoplasty jsou od určité teploty plastické a po ohlazení se zpevní, přičemž lze tuto změnu provádět opakovaně. Teplotní rozsah teploty viskozního toku, tj. teploty, kdy lze termoplasty tvarovat, se u běžných materiálů pohybuje mezi 100°C a 180°C. Díky těmto vlastnostem je lze velmi efektivně zpracovat na vstřikovacích lisích. Většinou se dají jednoduše mechanicky recyklovat bez ztráty mechanických vlastností. Podstatu tváření termoplastů a reaktoplastů lze vidět na obrázku 1[1].

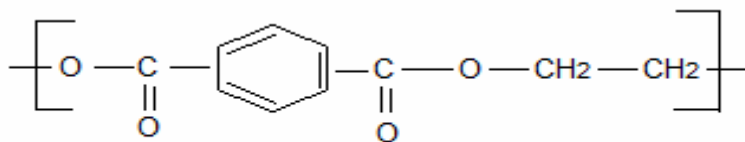


Obr. 1 - Podstata zpracování termoplastů a reaktoplastů

2.2 PET (Polyethylentereftalát)

Polyethylentereftalát je termoplastický polymer patřící do polyesterů. Jeho zkratka je PET. PET je nejčastěji používán v obalovém průmyslu jako velmi vhodný materiál k výrobě folií a lahví pro nápoje a kosmetiku. Je také používán jako matrice k výrobě kompozitních materiálů. Z tohoto materiálu lze vyrábět vlákna specifická svou nenavlhavostí a nemačkovostí (Dakron). Tenké folie jsou často známé jako Mylar. PET je zajímavý také tím, že v závislosti na procesu výroby a teplotě chlazení taveniny lze vyrobit amorfni (průhledný) materiál stejně jako semikrystalický (mléčně zabarvený). Lze dobře mechanicky recyklovat. Jeho příznivá cena a dobré vlastnosti ho rozšířily po celém světě jako vhodný a levný obalový materiál. Výrobky jsou označeny jedničkou mezi šípkami ve tvaru trojúhelníku. Velikou nevýhodou je vysoká ekologická zátěž a s tím spojené znečištění přírody i měst. Proto jsou vytvořeny sběrné kontejnery pro třídění sběrných surovin, aby byla

zajištění největší možná návratnost použitého plastu zpět do oběhu. Chemický vzorec polyethylenetereftalátu lze vidět na obrázku 2.[1][5]



Obr. 2 - Chemický vzorec polyethylenetereftalátu

PET je polární, krystalizující polymer s modulem pružnosti v tahu 3100 MPa, mezí pevnosti 50 – 80 MPa, teplotou skelného přechodu 280°C, hustotou 1370 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ a nasákavostí 0,3 % H_2O při 23°C za 24 hod.

2.3 Recyklace PET

Materiál lze snadno mechanicky recyklovat pro další použití. Důležitá je hlavně čistota vstupního materiálu. Pro ideální návratnost již použitého materiálu by bylo ideální zavést zálohový systém. Tento systém se např. v Německu již osvědčil a významnou měrou přispěl návratnosti plastu zpět do oběhu. Průmyslové systémy, které se zabývají recyklací PET lahví, jsou velmi složité a nákladné linky. Ukázku recyklační linky lze vidět na obrázku 3. [6] Nejdříve je třeba si uvědomit, že lahve slisované v balících přímo ze sběrných kontejnerů neobsahují jen PET, ale i polyvinylchlorid (dále PVC) a polypropylen (dále PP) z víček a etiket, dále mohou obsahovat zbytky náplně nebo papír, popřípadě lepidlo. Lahve nejdříve projdou automatickou třídičkou, kde se oddělí podle barev a odstraní se odpady. Poté se lahve melou buď za sucha, nebo za mokra na max. 5 mm velké vločky. Ty se předepírají a zbavují velkých nečistot, jako jsou papírky a zbytky uzávěrů. Dále jde směs do nádrže Sink-Float kde se pere a promíchává v roztoku horké vody a alkalické příměsi, která naruší zbytky lepidla a odstraní zbylé

etikety a jiné nečistoty. Dále je směs už jen proplachována a sušena na účinné odstředivce. Hotové vločky musí obsahovat méně než 50 partes per milion (dále ppm) nečistot, přitom původní vstupní odpad obsahuje obvykle jen 95% PET.[6]



Obr. 3 – Ukázka recyklační linky

2.3.1 Recyklát a regranulát

Výše popsané vločky vzniklé na recyklační lince se již mohou přímo zpracovávat pro další použití nebo se materiál ještě přidává do čistého materiálu a znovu se z něho vyrobí granule. Pokud je recyklát čistý, například když se vyrábí z čistých zmetkových lahví, lze ho přidávat přímo do granulátu před výrobou PET preforem. Maximální obsah však musí být do 10%. Tento systém je vhodný zejména pro provozy, kde se vyrábí jak preformy, tak lahve. Recyklát s příměsí papírových obalů je vidět na obrázku 4 [4]. Na obrázcích 5 a 6 [4] je již čistý recyklát, který je připraven ke zpracování.



Obr. 4 – Recyklát před vyčištěním od nečistot



Obr.5 - Recyklát pro výrobu modrých lahví



Obr.6 - Recyklát pro výrobu zelených lahví

2.3.2 Stroje pro zpracování recyklátu

Pro zpracování druhotné PET suroviny bez předchozí externí krystalizace přímo na PET fólie nebo PET vlákna se již řadu let úspěšně používá tzv. „in-line“ metoda, při níž jsou příslušná navazující zařízení připojena přímo za extruzní systém. Tak je možno přímo a bez regranulace vyrábět hluboko tažené fólie, textilní vlákna, obalové pásy a jiné výrobky. To snižuje náklady na logistiku a celkové výrobní náklady, a tím zvyšuje tvorbu přidané hodnoty ve výrobním procesu.

Popis výrobního postupu

Jako vstupní materiál slouží PET lahve, zmetky z výroby lahví a jejich směsi, mletý odpad z výroby fólií a vázacích pásků, výseky z výroby, mleté zmetkové předlisky atd. Materiál se bez předsušení a předchozí krystalizace dodává přes vakuový uzávěr přímo do reaktoru. V reaktoru se materiál současně promíchá, předejde, vysuší a vyčistí. Zbytková vlhkost se v reaktoru velmi rychle a účinně odstraní díky odpovídající prodlevě při vysokém vakuu a teplotě kolem 180 °C. To je bezpodmínečně nutné pro docílení optimální, konstantní a vysoké viskosity. Dále je rotujícím míchadlem reaktoru dosaženo správného kontinuálního plnění přímo do navazujícího jednošnekového extruderu. Šnek extruderu materiál plastifikuje, homogenizuje, v případě nutnosti odplyní a po následující jemné filtraci se dodává do navazujícího zařízení, jak lze vidět na obrázku 7.[6]



Obr. 7 – Schéma linky pro zpracování recyklátu

2.3.3 Vliv použití recyklátu na kvalitu PET lahve

Čistota recyklátu nebo regranulátu je velmi důležitý faktor, který ovlivní kvalitu PET lahve. Pokud bude obsah recyklátu příliš vysoký, projeví se to již na kvalitě povrchu. Lahve místy ztratí své optické vlastnosti nebo se objeví nečistoty přímo v materiálu. V provozu je velmi důležité udržovat pořádek, aby obsah nečistot byl co nejnižší. Nekvalitní regranulát se většinou projeví na barvě preformy, která může ztratit svoji čírost.

2.4 Technologie zpracování plastů

Ke zpracování plastů se používá řada technologií. Každá je specifická, a zároveň se velmi prolínají. Použitelnost technologie závisí na vlastnostech zpracovávaného plastu a také na funkci, kterou bude výrobek plnit. Jako základní lze považovat rozdělení podle deformace, kterou musí projít materiál při procesu. Dělí se na tvářecí, tvarovací a doplňkové technologie. Ty jsou podrobněji rozebrány v následujících kapitolách.

2.4.1 Tvářecí technologie

Jsou tak nazývány procesy, kdy je materiál přesouván a deformován zásadním způsobem a dochází k velkému přemístění částic. Materiál je deformován teplotou, tlakem nebo oběma současně. Do této skupiny patří i nejrozšířenější technologie zpracování plastů, jako vstřikování, vytlačování, lisování, válcování nebo odlévání. Nedochází zde k odběru třísek, a proto mohou být výrobky téměř bez odpadu. Výsledkem těchto procesů jsou buď polotovary (desky, trubky, preformy), nebo již finální výrobek.

2.4.2 Tvarovací technologie

Jsou to postupy, kde se vychází z polotovaru a nedochází zde k velkému přemísťování částic. Patří sem tvarování desek, výroba lahví, ohýbání trubek, veškeré obrábění (frézování, soustružení, řezání), spojování (lepení, svařování), ale i spékání prášků.

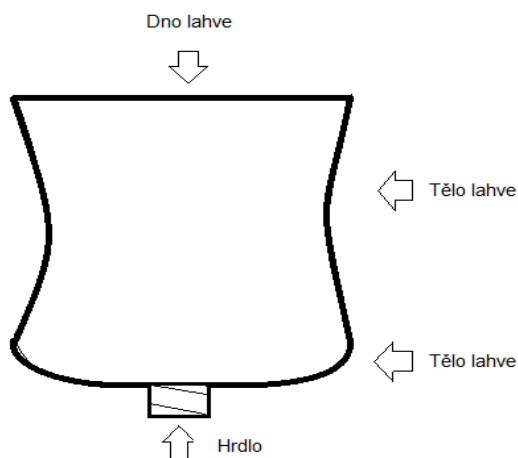
2.4.3 Doplňkové technologie

Upravují vlastnosti hmoty před zpracováním (barvení, sušení, předehřev, příprava granulátu), nebo naopak slouží po zpracování k úpravě hotového výrobku (temperování, potisk).

2.5 Výroba PET preforem

Preforma je polotovar sloužící k výrobě PET lahví. Je vyrobena vstřikováním taveniny na vstřikovacím lisu a obsahuje hotové hrdlo a tělo, viz obrázek 8. Formy na výrobu preforem jsou v praxi mnohdy až 100násobné a hodinový výkon těchto strojů je až 12000 kusů. Materiál na těle preformy po výfuku tvoří tělo a dno lahve. Tyto předlisky se liší použitým hrdlem, hmotností a délkou. Pro daný tvar a objem lahve je třeba určit optimální délku

a hmotnost. Ty se pohybují v hodnotách 10 – 150 g a 50 – 250 mm. Hrdla se pak v praxi dělí na hrdla pro oleje a hrdla opatřená závitem.



Obr. 8 – Schéma jednotlivých částí lahve

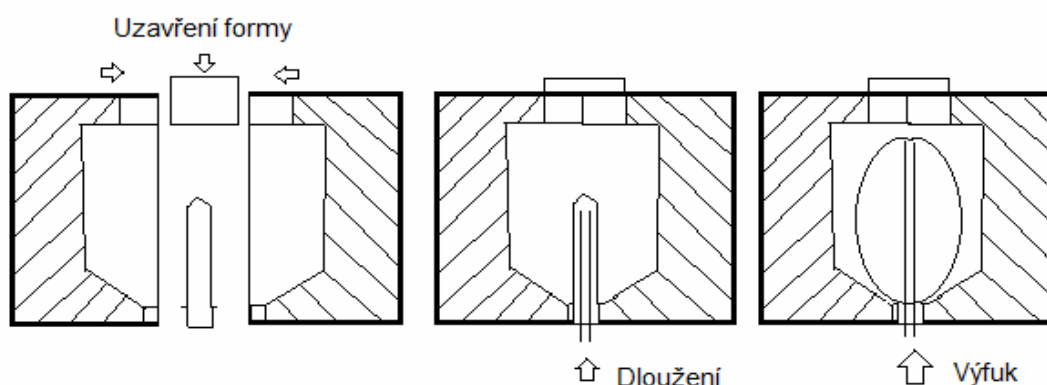
2.5.1 Technologie vstřikování PET

Krebs (1981, strana 169) uvádí, že: „Vstřikováním se rozumí takový způsob tváření polymerů, při němž je dávka plastifikovaného materiálu z tlakové komory vstřikována vysokou rychlostí do uzavřené dutiny formy, kde ztuhne ve finální výrobek. Tlaková komora je součástí vstřikovacího stroje a zásoba zpracovávaného materiálu se v ní stále doplňuje. Vstřikování je jednou z nejdůležitějších technologií zpracování termoplastů. (V menší míře se používá také u reaktoplastů a kaučukových směsí.) Slouží ke zhotovování konečných výrobků, často velmi členitých tvarů a poměrně s přesnými rozměry. Hodí se pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Jedná se o cyklický proces.“

Pro PET je tato technologie specifická v nutnosti vysoušení materiálu. Před tím, než je granulát dopraven do šnekové komory, projde vysoušecím zásobníkem. V něm jsou granule vysušeny horkým vzduchem o teplotě cca 150°C. Délka vysoušení se pohybuje v závislosti na použitém stroji od 2 do 4 hodin.

2.6 Technologie vyfukování s dloužením

Krebs (1981, strana 142 uvádí, že: „Dutá tělesa, jako jsou lahve, kanystry, sudy ale i kropicí konve a dětské hračky, se nejčastěji zhotovují vyfukováním. Pod vyfukováním rozumíme takové postupy, při nichž je vhodný polotovár z termoplastu tvarován ve vyfukovací formě pomocí tlaku vzduchu do tvaru otevřeného nebo uzavřeného tělesa. Plast musí být zahrán do visko-elastického stavu, kdy hmota vykazuje značnou tvarovatelnost, ale přitom si udržuje potřebnou soudržnost. Podle tvaru polotovaru lze postupy rozdělit na výrobu těles vyfukováním fólií a výrobu vyfukováním trubkového předlisku. Dle způsobu, jak je trubkový předlisek získán, je možno druhou technologii členit na postupy založené na vstřikování a na vytlačování plastu.“ Ukázka principu této technologie je vidět na obrázku 9.



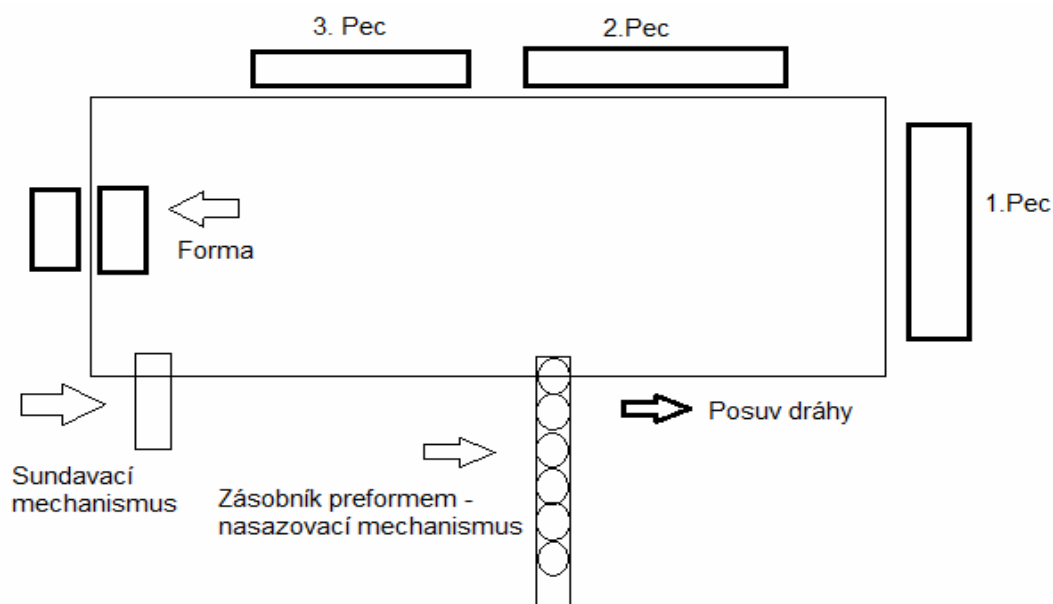
Obr. 9 – Princip dloužení a výfuku

Vyfukováním se zpracovávají hlavně PE a PP (asi $\frac{3}{4}$ produkce), PVC a jeho kopolymery a poslední dobou i PET. V této práci se optimalizace provádí právě na stroji, který vyrábí lahve z předlisků vyrobených vstřikováním, a proto je třeba se věnovat přímo této technologii. Vyfukování s dloužením se používá převážně pro PET lahve a tvarově vhodné výrobky. Technologie je rozdílná v použití dloužicího trnu, který má za úkol zahrátý polotovár před samotným výfukem protáhnout, a tím usnadnit samotný výfuk. Lze takto vyrábět tvarově složité výrobky při optimální kvalitě. Výhodou je

možnost použití preforem s určitou délkou pro více druhů lahví. Další výhodou této technologie je, že téměř nevzniká technologický odpad.

2.6.1 Vyfukovací stroje

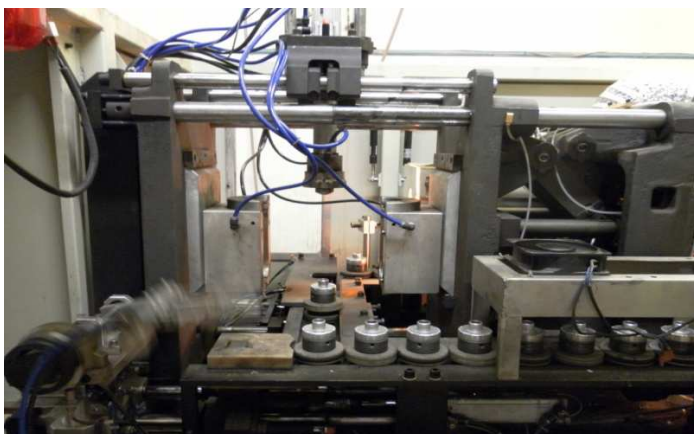
Většinou se používají stroje, kde se v první formě vyrobí předlisek vstřikováním a následně je v druhé formě vyfouknut. Hlavní výhodou tohoto systému je, že polotovar se nemusí znovu nahřívat. Dělí se na stroje se zásobníkem a bez zásobníku. Stroje se zásobníkem se hodí hlavně pro velké kanystry, sudy, palivové nádrže a jiná dutá tělesa. Tavenina se neustále doplňuje do zásobníku a z něj je přerušovaně vytlačována do dutiny formy. Stroje bez zásobníku se hodí pro menší výrobky, kde jsou nižší požadavky na množství taveniny pro jednotlivé dávky. Dále se vyrábí na strojích, kde je výfuk prováděn z již hotových polotovarů. Velkou výhodou je pořizovací cena stroje a formy, která je oproti technologii, kde je spojen výfuk se vstřikem, mnohem nižší. Bohužel je zde nutnost nákupu nebo výroby polotovaru, čímž se zvyšuje cena finálního produktu. Tyto stroje se vyskytují v automatické i poloautomatické verzi. Automatická verze nevyžaduje neustálou pozornost obsluhy. Je třeba hlídat pouze dostatečné množství preforem v zásobníku a pak již po zapnutí stroje padají hotové výrobky na místo, ze kterého jsou baleny a připravovány k plnění nebo expedici. Poloautomatický systém proti tomu vyžaduje neustálou přítomnost obsluhy, avšak tento systém se již téměř nepoužívá a automaty vyrábí většinu celosvětové produkce PET lahví. Nejdříve se nasadí preformy na vozíky, které jsou posouvány po dráze stroje. Pak je preforma zahřívána v peci dle nastavení výkonů jednotlivých pásem. Polotovar se v peci na vozíku otáčí a to zaručí rovnoměrně prohřátý materiál. Poté je posunuta do vyfukovací pozice, forma se zavře a pevně tím drží preformu na vozíku. Následně trn vyjede skrz hrdlo a vozík do dutiny formy, dlouží preformu a je proveden samotný výfuk. Stroje používají jedno i vícenásobné formy, které zvyšují produktivitu stroje. Zjednodušený princip funkce celého stroje lze vidět na obrázku 10. [2]



Obr. 10 – Princip technologie vyfukování

2.6.2 Formy pro vyfukování

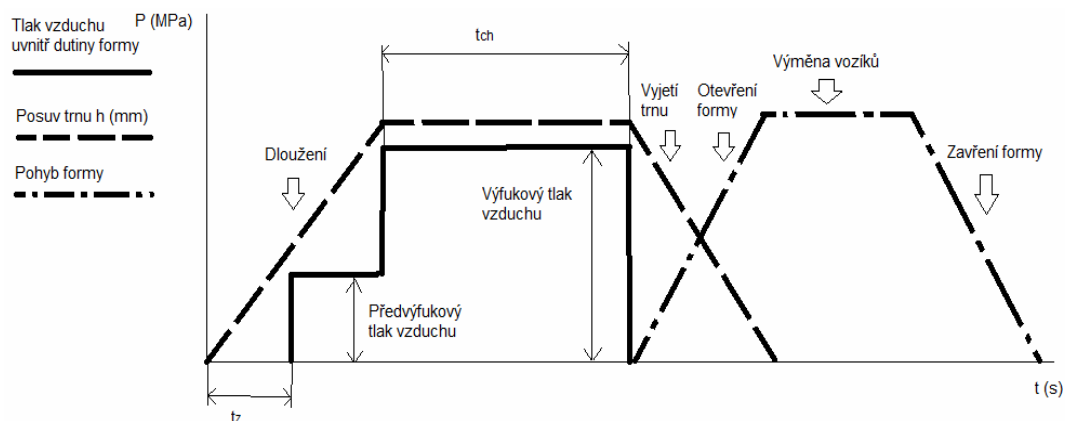
Formy pro vyfukování jsou většinou vyrobeny z hliníkových slitin. Rám formy je ocelový nebo z šedé litiny. Namáhané části formy, jako závitové vložky, vodící kolíky nebo svařovací hrany, se vyrábějí z nástrojové oceli. Pokud je výroba velkosériová a požadavky na trvanlivost formy vysoké, pak se také využívají formy ocelové. Předlisek se vyfukuje tlakem 0,4 – 2,5 MPa, forma musí být pro tento tlak dimenzována. Stejně tak musí být dimenzována pro uzavírací tlak lisu. Forma odebírá hmotě během tuhnutí teplo, a proto musí být chlazena. Pro tuto potřebu jsou ve formě zhotoveny chladicí kanály, kudy je vedena chladicí kapalina. Pokud se použije jako chladicí kapalina voda, pak se teplota má pohybovat od 10 do 20°C. Při navrhování formy je třeba dbát na správné odvětrání dutiny formy. Pokud by vzduch neměl kudy uniknout, bránil by ve správném vytvarování lahve. Pro odvětrání se používají odvětrávací kanálky s šířkou 0,1-0,2mm umístěné v dělicí rovině i v jiných místech, kde není zajištěn odvod vzduchu. Obrázek 11 přímo ukazuje část stroje s formou a vyhazovacím mechanismem. [3]



Obr. 11 – Část stroje EKOU EB5-III s formou a vyhazovacím mechanismem

2.6.3 Pracovní cyklus

Pracovní cyklus začíná při otevřené formě, zahřátý předlisek je ve vyfukovací pozici a forma se zavře. Dlouhý trn zajede do formy a po určité době, tj. je do dutiny vpuštěn předvýfukový vzduch o menším tlaku, který má za úkol rovnoměrně začít s výfukem a zpomalit tak deformaci. Když trn dosáhne požadované polohy, do dutiny formy je vpuštěn výfukový vzduch, který má vyšší tlak a dokončí výfuk lahve. Poté nastává doba chlazení, kdy je hmota pod tlakem přitisknuta na stěnu formy a zároveň chlazena, aby výrobek ztuhl v požadovaném tvaru. Pak trn vyjede z formy a forma se zároveň otevře. Hotová lahev je posunována na vozíku dál a do výfukové polohy najede další preforma. Tím cyklus začíná znovu od začátku. Cyklus se v praxi pohybuje od 4 do 10s. Je důležité při zachování kvality co nejvíce cyklus zkracovat, aby byla výroba produktivní. Cyklus výfuku je vidět na obrázku 12.



Obr. 12 – Pracovní cyklus vyfukovacího stroje s dlouhícím trnem

2.6.4 Vnější vlivy

Při technologii vyfukování je třeba dodržovat stálé pracovní podmínky. Zejména teploty na pracovišti a skladovací podmínky preforem. I když jsou stroje v rámci možností zakryté, jsou citlivé na průvan a s tím spojenou změnu teplot preforem. Již malá odchylka může způsobit, že nastavení stroje nemusí být optimální.

2.6.5 Externí zařízení

Tato technologie vyžaduje externí zařízení. V první řadě je to zdroj vysokého a nízkého tlaku vzduchu pro výfuk. Dále je to chladicí zařízení, které má za úkol udržovat teplotu chladicí kapaliny ve formě na stálé hodnotě. Rovněž je zde vysoušecí zařízení, které zbavuje výfukový vzduch vody. Pokud jsou výrobky určeny pro potraviny, pak musí být vzduch navíc filtrován, aby nedošlo k porušení hygienických pravidel a byla zaručena čistota a nezávadnost.

2.7 Zkoušení PET lahví pro drogistické účely

Lahve pro drogistické zboží jsou testovány na odolnost proti nárazu. Lahve se naplní daným objemem vody o pokojové teplotě a jsou dvakrát po sobě pouštěny z výšky 0,8m na tvrdý podklad. Ráz musí působit na ty části lahve, kde by se při pádu očekávala deformace, zejména hrdlo a rohy. Poté se zkoušené lahve postaví na 24 hodin a na konci se zkoumá, jestli nejsou někde porušené. Podle výsledků lze upravit nastavení stroje tak, aby na těchto místech byla síla stěny vyšší a tím i odolnější proti nárazům.

2.8 Skladovací podmínky

Hotové lahve jsou po kontrole rovnány na kartonové proklady a poté skládány na sebe. Počet lahví na paletě se liší podle objemu a tvaru jednotlivých lahví, ale pohybuje se od 600 do 4000. Lahve jsou poté zabaleny strojní fólií a označeny příslušnou etiketou s názvem, použitou gramáží preformy a jmény seřizovače a obsluhy stroje. Je důležité ve výrobě udržovat čistotu, protože před vlastním zabalením jsou nově vyrobené lahve nabitě statickou elektřinou a velmi snadno se na ně přichytává prach a jiné nečistoty. Lahve nesmí být vystaveny rychlým tepelným změnám, mrazu pod -20°C a teplotě přes 40°C . Dále nesmí být palety rovnány na sebe z důvodu mechanického poškození výrobků. Z toho důvodu je nezbytné, pokud teplota překročí meze, použít pro dopravu klimatizovaný dopravní prostředek.

2.9 Vady PET lahví

Je třeba vyjít z kvality preforem. Pokud jsou rozměrově přesné, materiál je čistý a jsou kompletní, pak vady mohou vznikat pouze nastavením stroje nebo nečistotami ve formě. Pokud se na polotovár přilepí nečistota a ta pak zůstane ve formě, objeví se na všech dalších lahvích obtisk této nečistoty. Proto je velmi důležité udržovat formu i celý provoz v čistotě. Z hlediska teploty mohou vzniknout dva extrémy. Jeden nastává, když je materiál

nedostatečně prohřátý a lahev není kompletně dotvarována, a druhý v případě, že má materiál již příliš vysokou teplotu a začíná se mléčně zabarvovat. Dále vznikají vady nesprávným nastavením dlouhícího trnu, kdy dochází decentralizaci hmoty na těle a dnu lahve. To se projeví na odchylce umístění horkého vtoku vůči středu dna lahve. V druhém extrému již špička trnu deformuje dno lahve a může dojít až k porušení.

2.10. O firmě Epicos s.r.o.

Společnost Epicos export import spol. s r.o. byla založena v roce 1993. Od počátku své existence se tato společnost pohybuje v prostředí spotřební kosmetiky, kdy začínala jako dovozce a prodejce výrobků svého prvního a největšího partnera- německé firmy Episan -cosmeticGmbH. Při této činnosti hlouběji pronikali do problematiky obalů v kosmetice a především jejich role v boji s konkurencí. Postupem času se společnost Epicos export import spol. s r.o. více orientovala právě na obaly pro tekutou kosmetiku a detergenty.

Společnost Epicos export import spol. s r.o. je od roku 2001 zapojena do Systému sdruženého plnění EKO-KOM a plní tak svou povinnost zajistit zpětný odběr a využití odpadu z obalů.

Od počátku roku 2003 nabízí společnost Epicos export import spol. s r.o. svým současným i budoucím zákazníkům možnost výroby PET lahví, PET preforem a plastových uzávěrů především pro kosmetiku a spotřební drogerii. V současné době jsou lahve vyráběny na třech vyfukovacích a pěti vstřikovacích strojích. PET lahve vyrábějí technologií vyfukování z preforem. Na jejich výrobních zařízeních jsou schopni produkovat lahve o objemu 200 – 2000 ml.

Výrobní strategie je založena především na vysoké flexibilitě možnosti operativního přechodu z výroby jednoho druhu lahví na jiný během velmi krátké doby.

Formy jsou vyráběny u stejné společnosti, která je dodavatelem strojního zařízení, a jsou s ním tedy plně kompatibilní.

Kromě vlastní výroby PET lahví společnost Epicos export import spol. s r.o. nabízí plastové obaly od svých partnerů z Polska, Německa a Itálie. V oblasti obchodu s plastovými obaly se neorientují pouze na PET, ale i na běžně používané materiály v obalovém průmyslu, jako je PP a PE. Aby byl obal pro produkt zákazníka kompletní, nachází se v nabídce společnosti také široká škála uzávěrů pro všechny typy závitů.

3 Experimentální část

Při výrobě preforem byla pro orientaci použita tato nastavení. Tlak vstříku byl 9 MPa. Teplota na výstupní části šneku 290 °C. Teplota chladicí kapaliny byla nastavena na 12 °C.

Původní nastavení nově zjišťovaných parametrů: Vzdálenost konečné pozice dlouhího trnu ode dna formy byla 3 mm. Jednotlivá nastavení výkonu topných zón byla pro první zónu 125V, pro druhou 64V, pro třetí 67V a pro čtvrtou 115V. Nastavení zpoždění otevření ventilu s předvýfukovým vzduchem bylo 0,22s. Doba chlazení byla nastavena na 1,5s.

3.1 Faktory ovlivňující výrobu

Vzhledem k tomu, že se tato práce vztahuje k reálnému provozu, je třeba najít a zhodnotit všechny faktory ovlivňující kvalitu výroby. Úkolem je co nejvíce snížit nebo zcela omezit vznik nekvalitních výrobků a snížit zmetkovitost na minimum. Pro optimalizaci procesu byla dána některá omezení. Například fakt, že výrobek musí být zhotoven z preformy o hmotnosti 24g. V následujících bodech jsou podrobněji přiblíženy jednotlivé faktory, které mohou kvalitu ovlivnit.

3.1.1 Kvalita preforem

Při průběžné kontrole ve výrobě jsou výrobky kontrolovány zejména z hlediska homogenity a čistoty materiálu, dále toho, zda jsou preformy kompletně dostříknuty po celém objemu, a z hlediska vzniku možných zástříků. Na preformách se dále kontroluje rovnoměrná síla stěny po celém

průřezu a sleduje se také osová výchylka. Kvalita preforem je velmi důležitá z hlediska zmetkovitosti. I nepatrná odchylka se na lahvi projeví rozdílnou silou stěn.

3.1.2 Lidský faktor

Jako v každé výrobě je i zde k přesnému posouzení optimalizace potřeba vzít do úvahy lidský faktor. Pro vlastní zkoušení v řádném provozu byli u stroje nejzkušenější pracovníci, aby byly eliminovány zmetky, které mohou vzniknout např. neopatrnou manipulací, popřípadě nečistotami na pracovišti. Vzhledem k tomu, že pracovníci mají na starost i kontrolu lahví, a tak jsou i posledním článkem výrobního procesu, je výběr pracovníků velmi důležitým faktorem. Od nich už jdou lahve k balení a expedici, a tím pádem jsou poslední, kdo může upozornit na nedostatky a tím zkvalitnit výrobu.

3.1.3 Nastavení vyfukovacího stroje

Pro kvalitu výrobku je nejdůležitější nastavení stroje. Je zde mnoho parametrů, které je třeba sledovat a vhodně zvolit optimální hodnotu. Pro nastavení na lahve, které jsou tvarově komplikované, je velmi obtížné určit optimální nastavení. Je potřeba postupně vytvářet vzorky, pečlivě sledovat nastavené parametry a kvalitu a nedostatky lahve. Po konzultaci s hlavním technologem bylo určeno 7 hlavních parametrů, které ovlivňují kvalitu lahve. Lze vyjít z nastavených hodnot a postupně je třeba nalézt optimální nastavení.

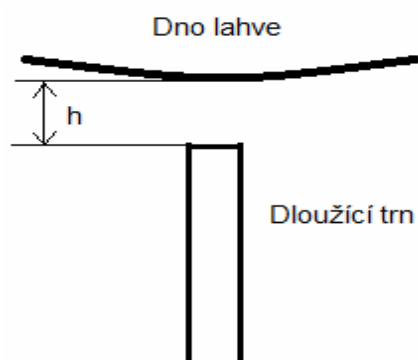
3.2 Parametry nastavení stroje

Stroj EKOUB5-III je konstruován přímo pro výfuk PET lahví. Proto je tomuto produktu přizpůsobena konstrukce i možnosti nastavení. Lahev EP 15 je již ve výrobě krátce zavedena. Při původním nastavení bylo dosaženo průměrné zmetkovitosti 1,4%, z toho bylo 0,95% způsobeno nastavením

stroje. Po konzultaci s vrchním technologem je třeba z hlediska optimálního nastavení sledovat následující parametry: konečnou pozici dloužícího trnu, výkon topných zón, zpoždění otevření ventilu s předvýfukovým vzduchem, dobu chlazení, rychlost dloužení, teplotu pro spínání ventilace pece, předvýfukový a výfukový tlak vzduchu. Princip nastavení těchto parametrů je přiblížen v následujících bodech práce.

3.2.1 Nastavení dloužícího trnu

Je třeba vyjít z tvaru preformy, která má výšku 110mm, její vzdálenost vnitřní stěny ode dna formy je 61mm, proto je třeba začít se vzorkováním od této hodnoty, kdy preforma není ovlivňována dloužícím trnem, až po hodnotu, kdy bude již preforma trnem deformována. Tato vzdálenost h je znázorněna na obrázku 13.



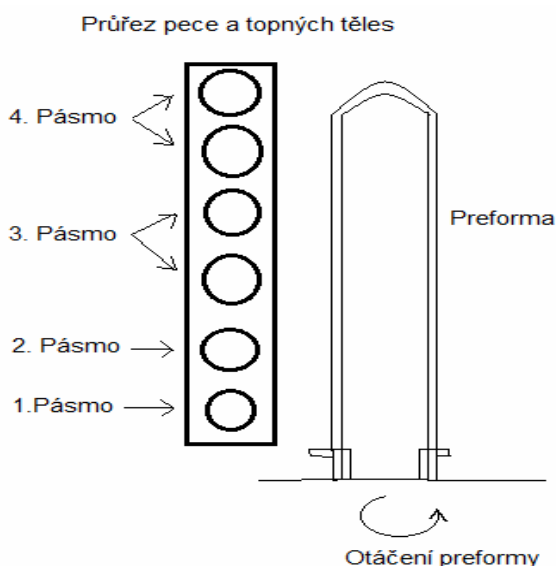
Obr. 13 – Vzdálenost konečné pozice dloužícího trnu ode dna formy

3.2.2 Nastavení výkonu topných zón

Vzhledem k tomu, že je potřeba přizpůsobit jednotlivá nastavení tlaku přímo pro jednotlivé druhy lahví použitím kontrolních tlakových ventilů nebo oddělených tlakových zásobníků, budou teploty navrhovány co nejvyšší, aby bylo možné co nejvíce snížit provozní výfukový tlak, a tím namáhání celého stroje a formy.

Princip práce topných zón

Preformy jsou automaticky nasazovány na vozíky. Ty jsou posunovány po dráze, která vede přes 3 pece, jež jsou rozděleny na 4 topné zóny dle obrázku 14. V pecích se preforma nahřeje dle nastaveného napětí na topných tělesech. Každé topné těleso má maximální výkon 2000W, jenž je ovlivňován napětím v okruhu, které je pro 230V 2000W. Poté je uzavřen do formy a při výfuku se dluží dle zahřátého materiálu. Čím více je zahřátý, tím lépe se dluží, čímž lze optimalizovat rovnoměrnost stěn lahve. Je třeba si uvědomit, že vrchní topné zóny jsou ovlivňovány těmi nižšími, a proto se při nastavování musí vycházet od spodní topné zóny. U vzorků je třeba hlídat sílu stěn a případné přehřátí materiálu, které se na přehřátém místě projeví změnou barvy na bílou a ztratí se transparentnost materiálu.



Obr. 14 – Princip práce pece a působíště jednotlivých topných těles

Pro tyto vzorky je třeba nastavit nejdříve krajní dolní mez teplot a poté zvyšovat až do přehřátí materiálu. Poté se při nejvyšší možné teplotě, kdy ještě nedojde k přehřátí materiálu, bude provádět jemnější nastavení topných zón. Pro toto nastavení byly pro představu udělány na preformě značky, aby bylo možné zjistit, kterou část lahve ovlivňují dané topné zóny. Po každém nastavení byla provedena analýza vzorků a z toho úprava nastavení.

Pro nalezení optimálního poměru a nastavení topných pásem bylo doporučeno a nastaveno zvýšení doby chladnutí o 0,5 s oproti výchozímu stavu. Po zjištění nových hodnot teplot pásem je čas doby chlazení otázkou příštího zkoušení a potom je nutné jej porovnat s hodnotou výchozí.

3.2.3 Nastavení zpoždění otevření ventilu s předvýfukovým

vzduchem

Toto zpoždění jistým způsobem řídí výfuk lahve. U některých tvarově odlišných lahví je toto zpoždění nastaveno na 0s. U této lahve je nastavení zpoždění důležitým faktorem kvality výrobku. Je třeba postupovat od nulové hodnoty výš, dokud nebude zjištěna optimální hodnota.

3.2.4 Nastavení doby chlazení

Tento parametr je důležitý hlavně z hlediska produktivity stroje. Při nastavení je třeba brát v potaz dostatečné dochlazení lahve, aby se po otevření formy již nedeformovala stahováním teplého materiálu, ale zároveň je třeba dobu chlazení zkracovat na co možná nejnížší hodnotu. Doba chlazení je část cyklu, kde lze velmi zkrátit cyklus a tím zvýšit produktivitu stroje.

3.2.5 Nastavení rychlosti dloužení

Rychlost dloužení lze na tomto stroji nastavit pneumatickým ventilem. V tomto případě však nelze jeho rychlost měřit a vzhledem k tomu, že je potřeba v této praxi často a rychle měnit druh vyráběného produktu, nebudeme toto nastavení měnit, aby se předešlo zdlouhavému nastavování stroje při výměně formy. Pokud by se jen nepatrně změnilo nastavení rychlosti, pak by bylo třeba ještě upravovat jiné parametry. Tento požadavek

byl vznesen přímo technologem, a proto není potřeba jej v tomto případě brát jako proměnný parametr.

3.2.6 Nastavení teploty pro spínání ventilace pece

Pece, ve kterých jsou preformy zahřívány, jsou z vrchní strany uzavřené komory. Teplota a vzduch, který jimi proudí, musí být nějakým způsobem řízeny. Proto je ve vrchní části pece větrací otvor s ventilací. Ta se spíná vždy, když teplota v peci překročí nastavenou mez. Tím udržuje v peci stálou teplotu. Toto nastavení je však v tomto případě doporučeno výrobcem a na daném stroji jej není třeba měnit, protože vyhovuje všem druhům lahví, které jsou na stroji vyráběny. Tato hodnota je 82 °C.

3.2.7 Nastavení výfukového a předvýfukového tlaku vzduchu

Tyto parametry nebylo bohužel možné v provozu firmy Epicos měnit. Je to dáno tím, že oba zdroje stlačeného vzduchu jsou napojeny na dva okruhy, které vedou ke dvěma různým vyfukovacím strojům. Z tohoto důvodu nebylo možné měnit nastavení hodnoty tlaku, protože druhý stroj potřebuje větší hodnoty než stroj, na kterém byla optimalizace prováděna. Z technických důvodů se proto nastavení těchto hodnot měnit nebude, ale optimalizace bude provedena tak, aby bylo později možné snižovat tlaky, a tím i opotřebení formy a stroje. Hodnota výfukového a předvýfukového tlaku vzduchu je 2,5 – 2,7 MPa a 0,8 -0,9 MPa.

3.3 Sledování a analýza zmetkovitosti

Nastavení stroje je nutné ověřit v praxi. Je třeba sledovat nekvalitní kusy a analyzovat příčiny vzniku vad. Popřípadě navrhnout další postupy pro zlepšení kvality a produktivity. Zjištěné parametry budou nastaveny na dvě pracovní noční směny. Ty jsou zvoleny z důvodu nejmenšího větrání ve výrobě a s tím spojenou změnou podmínek. Pro obsluhu stroje byl zvolen

zkušený pracovník, u kterého lze očekávat minimální vliv lidského faktoru na vznik vadných lahví. Zmetkové lahve se rozdělí podle vad, čímž lze zjistit přímý vliv nastavení stroje na kvalitu výfuku. Vadné lahve jsou konzultovány přímo s vrchním technologem a na základě toho lze zjistit, jestli změny nastavení přinesou očekávaný výsledek.

3.4 Vzorkování a vlastní postup

Optimalizace byla prováděna na stroji firmy Ekouindustries Co., Ltd., EKOUB5-III. Jedná se o automatický vyfukovací stroj s dlouhým trnem přímo určeným k vyfukování PET preforem. Na tento stroj lze umístit pouze jednonásobnou formu. Teoretický maximální hodinový výkon stroje je kolem 900 lahví/hodinu.

Jako materiál pro preformy je používán NEOPET 80. Jedná se o materiál přímo určený pro výfuk PET lahví. Tento materiál se hodí svojí čistotou i chováním při dloužení. Zároveň má dobrý poměr kvalita – cena, což je vhodné pro obaly, jež jsou určené pro jedno použití. Má velmi stálou transparentnost a odolnost vůči chemikáliím, které se pro drogistický průmysl používají.

3.4.1 Vzdálenost konečné pozice dlouhého trnu ke dnu formy

Tabulku s následujícím postupem nastavení dlouhého trnu lze najít v příloze jako tabulku 1. Také obrázky sad vzorků je možno nalézt v příloze v části vzdálenost konečné pozice dlouhého trnu ode dna formy.

Vzorky $V_{TR}001 - 005h = 61mm$

Dochází k porušení dolních rohů lahve, kde bylo očekáváno nejvyšší namáhání materiálu. Výfuk nebyl dokončen, lahve jsou zkroucené a je vidět, že teplý materiál nepřišel do kontaktu s formou na tak dlouhou dobu, aby zchladl, viz obrázek 15. Vzorky jsou nepoužitelné a je třeba snižovat vzdálenost koncové polohy trnu ode dna lahve.



Obr. 15 - Ukázka porušení lahve v dolním rohu

Vzorky $V_{TR}011 - 015h = 51mm$

Zde již dochází k prodloužení preformy o 10 mm, avšak na kvalitě lahví to není znát. Vznikají lahve o stejné nekvalitě jako v předchozím případě. Proto je dále snižována vzdálenost h.

Vzorky $V_{TR}021 - 025h = 41mm$

Zde se již podařilo u jednoho vzorku dokončit výfuk bez porušení lahve. Lahev má velmi nerovnoměrně rozprostřený materiál. V rozích lahve je velmi tenký, viz obrázek 16. Vtokové ústí preformy je na dnu lahve o 20mm mimo střed dna. Ostatní vzorky jsou stejné jako v předchozích nastaveních.



Obr. 16 - Obrázek prvního neporušeného vzorku, tenká síla stěny v dolním rohu

Vzorky $V_{TR}031 - 035h = 31mm$

Výfuk byl dokončen u tří vzorků. Zbylé dva byly porušené v dolních rozích lahve. U třech vzorků jsou stále velmi slabé stěny v rozích a vzdálenost vtoku od středu dna se pohybuje od 10 do 15mm, viz obrázek 17.



Obr. 17 - Ukázka vychýlení horkého vtoku od středu dna lahve

Vzorky $V_{TR}041 - 045h = 21mm$

Výfuk již byl dokončen u všech vzorků. Vzdálenost vtoku od středu lahve se pohybuje od 10 do 20mm, viz obrázek 18.



Obr. 18 - Obrázek vychýlení horkého vtoku od středu dna lahve

Vzorky $V_{TR}051 - 055h = 11mm$

Materiál na vzorcích začíná být rovnoměrně rozdělen po celém povrchu lahve. Vzdálenost vtoku od středu lahve se pohybuje od 5 do 20mm.

Vzorky $V_{TR}121 - 125h = 7mm$

Lahve jsou, co se týče materiálu, rovnoměrné. Dolní rohy a zbytek lahve jsou již pevné, ale vtok na preformě stále není na středu dna lahve, viz obrázek 19. Vzdálenost vtoku od středu lahve se pohybuje od 5 do 15mm.



Obr. 19 - Ukázka vychýlení horkého vtoku od středu dna lahve

Vzorky $V_{TR}141 - 145h = 3mm$

Vzorky odpovídají potřebné kvalitě. Tloušťka stěn je homogenní a vtok je od středu lahve vzdálen maximálně 3mm. Toto nastavení odpovídá kvalitativním požadavkům, viz obrázek 20. Dále byla z důvodu možného zahlazení vtoku na preformě pro zkoušku nastavena menší vzdálenost dlouhího trnu od dna lahve o 1mm.



Obr. 20 - Deformace způsobená vtlačení trnu do dna lahve

Vzorky $V_{TR} 151 - 155 h = 2mm$

Vzorky jsou stejně kvalitní jako v předchozím případě, avšak na středu dna je do materiálu již viditelně obtisknutá špička dlouhího trnu, viz obrázek 20. To deformuje dno a může dojít až k prasknutí dna lahve. Proto je od tohoto nastavení upuštěno a ideální je tedy nastavení $h=3mm$.

3.4.2 Jednotlivá nastavení výkonu topných zón.

Pro první vzorky bylo na všech topných zónách nastaveno 50V. Následující hodnoty pro výkon topných zón jsou v příloze v tabulce 2. Zde je možno vidět postup při úpravě nastavení a výsledné hodnoty. Pod touto tabulkou lze vidět obrázky jednotlivých sad vzorků.

Vzorky $V_T 001 - 005$

Vlivem nedostatečného prohřátí dochází k porušení hrdla, viz obrázek 21. Je třeba zvýšit napětí na topných zónách. Po zhotovení prvního vzorku bylo potřeba již nepokračovat vzhledem k možnému porušení stroje.



Obr. 21 - Porušení vlivem nedostatečného prohřátí preformy

Vzorky $V_T 021 - 025$

Podařilo se dokončit výfuk u 4 vzorků. U jedné lahve došlo vlivem nedostatečného prohřátí preformy k porušení lahve přímo v místě, kde se preformy dotýká dlouhí trn, viz obrázek 22. Materiál se také nezačal rozpínat hned u hrdla, ale až v oblasti druhé topné zóny, což opět značí nedostatečné prohřátí preformy, viz obrázek 23.



Obr. 22 - Porušení přímo ve špičce preformy



Obr. 23 - Neroztažení materiálu u hrdla preformy

Vzorky **V_T031 - 035**

Vzorky jsou již neporušené, dno je zkroucené a má silnou stěnu, naopak tělo lahve a dolní rohy mají velmi slabé stěny, viz obrázek 24.



Obr. 24 - Tenká stěna lahve v dolním rohu

Vzorky **V_T041 - 045**

Vzorky jsou již neporušené, dno je zkroucené a má silnou stěnu, naopak tělo lahve a dolní rohy mají velmi slabé stěny, jak je vidět na obrázku 25. Výsledek je velmi podobný jako v předchozím nastavení.



Obr. 25 - Slabá stěna lahve v dolním rohu

Vzorky **V_T051 - 055**



Obr. 26 - Ukázka přehřátého materiálu

Na lahvích se již objevuje přehřátý materiál, jak je vidět na obrázku 26, proto je třeba teplotu snížit.

Vzorky **V_T061 - 065**

Na vzorcích již není znát bílé zabarvení, a proto je třeba najít horní hranici. Opět byla zvýšena teplota.

Vzorky **V_T071 - 075**

Zde se již nevyskytl přehřátý materiál, a proto je zvoleno jako optimální výchozí nastavení **V_T061 - 065**. Nyní je třeba vyjít od nastavení prvního pásma. Podle pomocné značky bylo zjištěno, že na prvním pásmu máme mnoho materiálu, a proto je stěna lahve kolem hrdla velmi tvrdá. V těchto místech se stěna také propadá vlivem nedostatečného chlazení, viz obrázek 27. Proto byla zvýšena teplota na prvním pásmu.



Obr. 27 - Propadlý materiál kolem hrdla lahve

Vzorky **V_T101 - 105**

Nyní se síla stěny na 1. pásmu velmi zlepšila, avšak na těle lahve se již objevuje přehřátý materiál, viz obrázek 28. Příliš mnoho materiálu na dnu lahve dalo vzniknout také nálitku, viz obrázek 29. Snížíme teplotu na 2., 3. a 4. pásmu.



Obr. 28 - Ukázka přehřátého materiálu



Obr. 29 - Obrázek nálitku ve dně lahve

Vzorky **V_T111 - 115**



Obr. 30 - Zmenšený náledek ve dně lahve

Nálitek se zmenšil, nepodařilo se ho však odstranit, viz obrázek 30. Materiál již není přehřátý, a proto můžeme zvýšit teplotu na 4. pásmu, které nejvíce ovlivňuje dno lahve.

Vzorky $V_T121 - 125$

Nálitek zmizel. Na dnu lahve je stále velmi, silná stěna, která se vlivem nedostatečného chlazení krouť, což lze vidět na obrázku 31. Proto ještě zvýšíme teplotu na 4. pásmu.



Obr. 31 - Kroucení příliš silného materiálu ve dně

Vzorky $V_T131 - 135$

Dna lahví již nejsou tak zkřivená. Zvýšenou plasticitou dna je nyní opět mnoho materiálu kolem hrdla. Proto zvýšíme teplotu na prvním pásmu.

Vzorky $V_T141 - 145$

Nyní jsou příliš slabé stěny na 2. a 3. pásmu, proto na nich snížíme teplotu, aby tam bylo více materiálu. Dále se objevily deformace na dně vzorku způsobené silnou stěnou dna, viz obrázek 32. Je očekáváno zlepšení kroucení dna vlivem lepšího roztažení materiálu na dnu vzorku.



Obr. 32 - Deformace způsobená příliš silnou stěnou materiálu ve dně

Vzorky $V_T151 - 155$

Síla stěn kolem 2. a 3. pásma se zvětšila a u dna lahve se kroucení materiálu zmenšilo. Proto opět snížíme teploty na 3. a 4. pásmu.

Vzorky $V_T161 - 165$

Nyní je již stěna na 2. a 3. pásnu příliš silná a dno lahve není tolik zkroucené. Proto je třeba najít kompromis mezi $V_T151 - 155$ a $V_T161 - 165$.

Vzorky $V_T171 - 175$

U tohoto nastavení mají vzorky kolem 2., 3. a 4. pásma materiál rovnoměrně rozdělen, avšak na 1. pásnu je stěna lahve kolem hrdla již příliš tenká. Snižujeme teplotu na 1. pásnu.

Vzorky $V_T181 - 185$

Vzorky mají téměř homogenní sílu stěn těla lahve. Jen na dnu lahve by mohla být stěna ještě slabší. Proto byla zvýšena teplota na 4. pásnu.

Vzorky $V_T191 - 195$

Zde se již objevují slabé stěny lahve na dolních rozích, a proto je jako hrubé výchozí nastavení teplot použito nastavení $V_T181 - 185$.

Pro jemnější nastavení budou již použity preformyopatřené značkami ukazujícími rozmístění topných pásem. Při tomto nastavení byl zhotoven první porovnávací vzorek, viz obrázek 33. Dále již bude vždy do série umístěna jedna označená preforma. Kolem třetího pásma je stěna velmi slabá a vzdálenost mezi 1. a 2. pásmem je příliš velká, což v tomto místě způsobuje vznik tenké stěny. Byla zvýšena teplota na 3. pásnu.



Obr. 33 - Porovnávací vzorek

Vzorky $V_T211 - 215$



Obr. 34 - Příliš velká vzdálenost 1. a 2. pásma

Je opět třeba vyjít z nastavení spodních pásem. Kolem hrdla lahve na pásmu 1 je stále málo materiálu a zároveň je toto pásmo příliš daleko od pásma 2, viz obrázek 34. Proto byla snížena teplota na pásmu 1.

Vzorky **V_T221 - 225**

Síla stěn kolem hrdla je již dostatečná. Pásmo 2 je od pásma 1 stále příliš vzdáleno. Je snížena teplota na 1. pásmu.

Vzorky **V_T231 - 235**

Nyní je již na 1. pásmu příliš silná stěna a pásmo 2 je stále vzdáleno od 1. Proto je zvýšena teplota na 1. pásmu a snížena na pásmu 2. Aktuální rozmístění pásem lze vidět na obrázku 35.



Obr. 35 - Přiliš silná stěna na 1. pásmu

Vzorky **V_T241 - 245**

Je třeba posunout 2. a 3. pásmo k hrdlu lahve. Byla snížena teplota na 2. pásmu a zvýšena teplota na 4. pásmu.

Vzorky **V_T251 - 255**

Objevují se dolní rohy, kde není síla stěny dostatečná a velmi lehce je lze zdeformovat, viz obrázek 36. Je třeba snížit teplotu na 4. pásmu.



Obr. 36 - Tenký materiál v dolním rohu lahve

Vzorky **V_T261 - 265**

Bylo zjištěno, že místo, které bude nejvíce náchylné k chybě, je dolní roh lahve. Zde bude po natažení potřeba nejsilnější stěna preformy, a proto je zvýšena teplota na 1., 2. a 3. pásmu.

Vzorky $V_T271 - 275$

Ze získaných vzorků bylo usouzeno, že prioritou pro malou zmetkovitost je dostatečná síla stěny preformy po dloužení kolem dolních rohů lahve. Proto je třeba materiál co nejvíce přesunout do části kolem dolních rohů. Je zvýšena teplota na 1. pásmu. Kontrolní vzorek je vidět na obrázku 37.



Obr. 37 - Kontrolní vzorek - zvýšení teploty na 1. pásmu

Vzorky $V_T281 - 285$

Ze stejného důvodu jako v předchozím případě je zvýšena teplota na 2. pásmu.

Vzorky $V_T291 - 295$

Opět je zvýšena teplota na 2. pásmu.

Vzorky $V_T301 - 305$

U tohoto nastavení jsou síly stěn homogenní a v dolních rozích je dostatek materiálu. Jsou navrhovány co nejvyšší teploty, aby bylo možné případně snížit tlak výfukového vzduchu. Získaný poměr je optimální, viz obrázek 38.



Obr. 38 - Optimální poměr výkonu topných zón

Nyní budou zvyšovány teploty na všech pásmech při získaném poměru, dokud se neobjeví vady.

Poměr mezi teplotami na topných pásmech a následný přídavek pro výkon jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1

Topná zóna	1. Topná zóna	2. Topná zóna	3. topná zóna	4. topná zóna
Poměr	1	0,5	0,55	0,96
Přídavek (V)	2	1	1,1	1,9

Vzorky **V_T401 - 405**

Toto nastavení vzorku odpovídá potřebné kvalitě a pevnostním nárokům. Neobjevila se žádná vada. Je opět zvýšena teplota na všech pásmech při získaném poměru. Vzorek lze vidět na obrázku 39.



Obr. 39 - Optimální nastavení výkonu topných zón

Vzorky **V_T411 - 415**

Vzorky mají již příliš slabou stěnu v dolních rozích lahve, viz obrázek 40, a mají již lehce přehřátý materiál. Proto je předchozí nastavení **V_T401 - 405** optimální.



Obr. 40 - Tenký materiál v dolním rohu lahve

3.4.3 Nastavení zpoždění otevření ventilu s předvýfukovým vzduchem.

Tabulku s následujícím postupem a jednotlivými nastaveními zpoždění lze nalézt v příloze v tabulce 4. V této části přílohy je možno vidět obrázku jednotlivých sad pro nastavení.

Vzorky $V_Z001 - 005t_z = 0,00s$

Nepodařilo se dokončit výfuk u žádného vzorku. Všechny byly porušeny u dna lahve. K porušení došlo dříve, než se stěna preformy zchladila o stěnu formy.

Vzorky $V_Z011 - 015$ až vzorky $V_Z071 - 075t_z = 0,02 - 0,14s$

Bylo dosaženo stejného výsledku jako v předchozím případě. Na lahvích nebyla znát žádná změna.

Vzorky $V_Z081 - 085t_z = 0,16s$

U jednoho vzorku se podařilo dokončit výfuk. Vzorek má v dolních rozích velmi slabou stěnu a je v těchto místech mléčně zabarvený, viz obrázek 41.



Obr. 41 - První neporušený vzorek - slabý materiál v rozích

Vzorky $V_Z091 - 095t_z = 0,18s$

Výfuk byl dokončen bez porušení u všech výrobků. Opět se opakují stejné vady jako u předchozího nastavení, viz obrázek 42.



Obr. 42 - Stejně vady lahví jako v předchozím případě

Vzorky $V_Z101 - 105t_z = 0,2s$

Dolní rohy již nejsou mléčně zabarvené, avšak stále se v těchto místech objevuje slabá stěna.

Vzorky $V_Z111 - 115t_z = 0,22s$

4 lahve již mají správnou pevnost po celém těle lahve i v rozích. U jednoho vzorku se ještě objevila slabá stěna v rohu lahve, viz obrázek 43.



Obr. 43 - U jednoho vzorku se ještě objevila slabá síla stěny v rozích

Vzorky $V_Z121 - 125t_z = 0,24s$

U těchto vzorků je již v rozích materiálu dostatek, avšak na dnu se již začíná tvořit lehká nerovnost, která vznikla kvůli příliš velkému množství materiálu.

Vzorky $V_Z131 - 135t_z = 0,26s$

Nerovnost na dnu, která se objevila v předchozím případě, se zvětšila, viz obrázek 44. Na těle lahve je síla stěny nepatrně menší. Zpoždění bylo prodlouženo o 0,02s z důvodu ověření příčiny vzniku nerovnosti ve dnu.



Obr. 44 - Zvětšená nerovnost ve dně lahve

Vzorky $V_Z141 - 145t_z = 0,28s$

Nálitek se pouze zvětšil a síla stěn na těle lahve je opět slabší. Je třeba najít kompromis mezi nastaveními $V_Z111 - 115$ a $V_Z121 - 125$.

Vzorky $V_Z151 - 155t_z = 0,23s$

Toto nastavení je optimální. Síla stěny je po celém těle homogenní a dno není zkroucené. V rozích je u všech vzorků dostatek materiálu. Toto je hodnota zpoždění, u které se neobjevily žádné vady.

3.4.4 Nastavení doby chlazení lahve uvnitř formy.

Je zvolena minimální počáteční hodnota $t_{CH} = 0,1s$. Tabulku s následujícím postupem a jednotlivými nastaveními doby chlazení lze nalézt v příloze jako tabulku 5. Pod ní lze vidět obrázky vzorků pro jednotlivá nastavení.

Vzorky $V_{CH}001 - 005$ $t_{CH} = 0,1s$

Vzhledem k minimální hodnotě nejsou výrobky téměř vůbec dochlazené. Vzorky jsou dochlazené pouze na těle lahve, kde je síla stěny nejmenší, viz obrázek 45. Podařilo se zhotovit pouze 4 vzorky. Poslední vzorek se při otevírání formy poškodil a musel být odstraněn. Lahve jsou zkroucené na dnu a kolem hrdla. Největší nároky na dobu chlazení jsou očekávány na dnu lahve, kde je síla stěny největší.



Obr. 45 - Ukázka nedostatečného chlazení lahve

Vzorky $V_{CH}011 - 015$ $t_{CH} = 0,3s$

Vzorky mají stejné vady jako v předchozím případě, ovšem ne v takové míře, viz obrázek 46. Doba chlazení je opět prodloužena.



Obr. 46 - Zmenšená deformace vlivem nedostatečného chlazení

Vzorky $V_{CH021} - 025t_{CH} = 0,5s$

Lahve jsou již dochlazeny po celém těle lahve. Dolní rohy stále nejsou dostatečně dochlazené. Dna jsou nadále zkroucená.

Vzorky $V_{CH031} - 035t_{CH} = 0,7s$

Nyní jsou již lahve zchlazeny po celém povrchu až na dno. Je třeba kontrolovat pouze kvalitu dna, viz obrázek 47.



Obr. 47 - Deformace ve dně vlivem nedostatečného chlazení

Vzorky $V_{CH041} - 045t_{CH} = 0,9s$

Kvalita dna se zlepšila. Doba chlazení se opět prodloužila.

Vzorky $V_{CH051} - 055t_{CH} = 1,1s$

Dochlazení dna se zlepšuje. Materiál se již tolik nekrouťí. Doba chlazení byla prodloužena.

Vzorky $V_{CH061} - 065t_{CH} = 1,3s$

Kvalita dna se zlepšila, viz obrázek 48. Doba chlazení se opět prodloužila.



Obr. 48 - Mírná deformace dna

Vzorky $V_{CH071} - 075t_{CH} = 1,5s$

Takto nastavená doba chlazení je dostatečná. Dno lahve není zkroucené a již se neobjevují žádné vady. Pro příští vzorek je doba ještě prodloužena, aby bylo možné zkontrolovat, jestli se neobjeví nějaká změna.

Vzorky $V_{CH081} - 085 t_{CH} = 1,7s$

Takto nastavený cyklus je již zbytečně dlouhý. Neprojevila se žádná změna na kvalitě výrobku. Proto je třeba najít kompromis mezi nastaveními $V_{CH061} - 065$ a $V_{CH071} - 075$.

Vzorky $V_{CH091} - 095 t_{CH} = 1,4s$

Dna vzorků jsou již opět trochu pokřivená. Proto je doba chlazení prodloužena.

Vzorky $V_{CH101} - 105 t_{CH} = 1,45s$

Toto nastavení je optimální. Lahve jsou na všech místech dostatečně dochlazeny a již se neobjevily žádné vady.

3.4.5 Zkoušení nastavení a analýza příčiny nekvalitních výrobků při novém nastavení v praxi

Zjištěné nastavení bylo nutné ověřit v praxi. Před dokončením této práce jsme měli možnost ověřit si po dobu dvou pracovních směn kvalitu nastavení a zároveň zjistit, jestli se zmetkovitost snížila. Lahve byly vytvořeny z preforem, které jsou vyrobeny přímo v Epicosu, a důležité je, že forma pro vstřikování byla před vyrobením těchto preforem na seřízení z důvodu co nejvyššího posouzení kvality výroby. Všechny pozice z 12násobné formy byly kontrolovány kvůli možnému vychýlení osy těla preformy mimo osu závitové části a kvůli zjištění, zda je síla stěn rovnoměrná. Z toho lze usoudit, že preformy byly kvalitní a co nejméně ovlivní výsledek experimentu.

Při těchto dvou směnách bylo vyrobeno 11 350 lahví za 15 hodin strojové práce. Jedná se o poměrně velký soubor lahví, z něhož lze usoudit, zda je nastavení optimální. Obsluhou stroje, která zároveň kontroluje jednotlivé lahve, bylo zjištěno 93 vadných lahví. Z toho 52 lahví bylo vadných z důvodu nekvalitní preformy (nedolitě preformy, zástříky, popřípadě nečistoty přímo v materiálu). Žádná lahev nebyla pomačkána nebo jinak znehodnocena obsluhou, a proto zbylých 41 nekvalitních lahví bylo vyrobeno kvůli nastavení stroje. Zmetkovitost se v této technologii celkem běžně objevuje a u žádné lahve ve výrobním programu Epicosu nelze vyloučit možné vady. Mnohé typy lahví jsou téměř bez problémů. U některých však z důvodu složitějšího tvaru, popřípadě nevhodně nastavené hmotnosti nebo rozměru preformy nelze zmetky z výroby vyloučit, a proto je důležitá výstupní kontrola. Kontrolu prováděl zkušený pracovník, u něhož je nejvyšší pravděpodobnost, že objeví všechny vady a předá tak kompletní sortiment vad, které při experimentu vznikly. Pro kontrolu je z hlediska kvality důležitá zejména vzdálenost středu preformy (horký vtok) od středu dna lahve. Na tuto vzdálenost je tolerance dána max. 5mm. A přesně na tomto parametru bylo vyřazeno 28 ze 41 nekvalitních lahví, tj. 66 % zmetků. Vzdálenost horkého vtoku od středu dna lahve je ovlivňována zejména nastavením trnu a kvalitou preforem. Zbylé zmetky byly vyřazeny buď z důvodu slabého materiálu v dolních rozích lahve, nebo z důvodu křivého dna a s tím spojené špatné stability lahve na rovném podkladu. Při zkoušení nastavení bylo také zjištěno, že většina vadných lahví byla vyrobena hned v začátku výroby nebo po přestávkách pro obsluhu, kdy stroj stojí a forma a pec nemají ještě správnou provozní teplotu. Tento fakt lze ovlivnit pouze minimálním potřebným počtem zastavení stroje a dostatečným prohřátím stroje před tím, než budou do stroje nasazeny první preformy. Obecně bylo dosaženo zmetkovitosti 0,81%, z toho 0,45% zmetků bylo způsobeno nekvalitními preformami a zbytek, tj. 0,36%, byl vyřazen z důvodu nastavení stroje, popřípadě z důvodu zastávek stroje.

4 Závěr

Účelem této práce bylo pomocí pokusů, metody přímého pozorování, měření a analýzy naměřených vzorků určit a rozpoznat vliv nastavení jednotlivých parametrů stroje na kvalitu výrobku při výrobě PET lahví metodou vyfukování plastů s dloužením. Jednalo se o Lahev EP 15 o objemu 500 ml, která měla být vyfouknuta z preformy o hmotnosti 24g se závitem upraveným pro použití s dávkovačem. Práce byla zadána ve firmě Epicos export import spol. s r.o., kde se vyskytl problém se zavedením tohoto druhu lahve na nový stroj EKO EB5-III a při výrobě se objevila zmetkovitost o hodnotě 1,4%. Dále bylo třeba určit vliv těchto parametrů na zmetkovitost a zjistit případné úpravy celého procesu, které by pomohly zvýšit kvalitu a produktivitu výroby.

V experimentální části byla provedena analýza procesu výfuku s dloužením, kde je velmi mnoho parametrů ovlivňujících kvalitu výrobku. Také byly zjištěny možné příčiny výrobních vad a navrhnuty postupy pro jejich odstranění. Následně byla provedena optimalizace celého procesu a nastavení stroje. To bylo vyzkoušeno v praxi v souvislosti s ověřením účinnosti daného nastavení. Také bylo vhodné zjistit technické nedostatky a navrhnout řešení, které povede k zlepšení kvality. Bylo třeba zajistit bezproblémový provoz a co nejvyšší produktivitu při zachování kvality produktu.

Po zhodnocení všech výsledků byly učiněny následující závěry. Bylo zjištěno vhodnější nastavení pro výrobu, které se příliš neliší od původního nastavení, ale i přesto byla ve výsledku snížena celková zmetkovitost na 0,81%, což již odpovídá výrobě lahve se složitějším tvarem. Pro nastavení koncové vzdálenosti ode dna je ideální vzdálenost 3mm. Nastavení výkonu topných zón jsou následující: 1. zóna – 123 V, 2. zóna – 61,5 V, 3. zóna – 68,1 V, 4. zóna – 117,9. Pro dobu zpoždění otevření předvýfukového ventilu po začátku dloužení byla zjištěna optimální hodnota 0,23 s. Také se podařilo při tomto nastavení snížit dobu chlazení o 0,05 s, aniž by byla negativně ovlivněna kvalita dochlazení výrobku.

Ohledně budoucích možností úprav procesu bychom navrhli vložení pneumatického kontrolního ventilu do přívodu vzduchu, popřípadě jinou

možnost kontroly tlaku předvýfukového a výfukového vzduchu. Tím bychom dosáhli také větších možností nastavení pro tento stroj a zároveň by kompresory nemusely být tolik vytížené, protože u mnoha lahví by zajisté šly tyto hodnoty tlaku snížit. To by mělo dobrý vliv jak na vyfukovací stroj samotný, tak na kompresory a pneumatická zařízení všeobecně.

Dále bylo zjištěno, že zmetkovitost se v nejvyšší míře objevovala při začátku směny, popřípadě po přestávce, kdy pece a forma nebyly dostatečně prohřáté. Proto navrhujeme snižovat počet zastávek stroje na nutné minimum a topné zóny nechat řádně prohřát, než se začnou nasazovat preformy.

5 Použitá Literatura

- [1] PTÁČEK, L. Nauka o materiálu II. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM Brno, s.r.o ,2002, ISBN 80-7240-248-3
- [2] KREBS, J. Teorie a technologie zpracování plastů. 1. vyd. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1981, Číslo publikace 55-823-80.
- [3] Šafařík, M. Nástroje pro tváření kovů a plastů. 1. vyd. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1987, Číslo publikace 55-823-86.
- [4] Recyklace plastu, ZEOPOL [cit. 2012-12-10].Dostupné z:
<http://www.zeopol.com/recyklace-plastu.htm>
- [5] PET. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): WikimediaFoundation, [cit. 2012-12-10] Dostupné z:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Polyethylentereftalát>
- [6] NEZVAL, J., Recyklace PET[online]. 2005. [cit. 2012-11-8]. Dostupné z:
http://www.petrecycling.cz/o_recyklaci.htm

Seznam příloh:

- 1. Tabulka 1 - nastavených hodnot vzdálenosti konečné pozice trnu, obrázky jednotlivých vzorků**
- 2. Tabulka 2 -nastavených hodnot pro výkon topných zón, obrázky jednotlivých vzorků**
- 3. Tabulka 3 - nastavení zpoždění otevření ventilu s předvýmukovým vzduchem, obrázky jednotlivých vzorků**
- 4. Tabulka 4 - nastavení doby chlazení, obrázky jednotlivých vzorků**

Příloha 1

Vzdálenost konečné pozice dlouhího trnu ke dnu formy

Tabulka 1 - nastavených hodnot vzdálenosti konečné pozice trnu		
Vzorky	Vzdálenost h (mm)	Optimální nastavení
Vtr 001 - 005	61	NE
Vtr 011 - 015	51	NE
Vtr 021 - 025	41	NE
Vtr 031 - 035	31	NE
Vtr 041 - 045	21	NE
Vtr 051 - 055	11	NE
Vtr 121 - 125	7	NE
Vtr 141 - 145	3	ANO
Vtr 151 - 155	2	NE

Obrázky jednotlivých vzorků



Vzorky Vtr 001 - 005



Vzorky Vtr 011 - 015



Vzorky Vtr 021 - 025



Vzorky Vtr 031 - 035



Vzorky Vtr 041 -045



Vzorky 121 - 125



Vzorky 141 -145



Vzorky 151 - 155

Příloha 2

Nastavení hodnot pro výkon topných zón

Tabulka 2 - nastavených hodnot pro výkon topných zón					
Vzorky	1. topná zóna Napětí (V)	2. topná zóna Napětí (V)	3. topná zóna Napětí (V)	4. topná zóna Napětí (V)	Optimální nastavení
Vt 001-005	50	50	50	50	NE
Vt 011-015	65	65	65	65	NE
Vt 021-025	80	80	80	80	NE
Vt 031-035	95	95	95	95	NE
Vt 041-045	110	110	110	110	NE
Vt 051-055	105	105	105	105	NE
Vt 061-065	100	100	100	100	NE
Vt 071-075	103	103	103	103	NE
Vt 101-105	115	100	100	100	NE
Vt 111-115	115	85	85	85	NE
Vt 121-125	115	85	85	100	NE
Vt 131-135	115	85	85	115	NE
Vt 141-145	130	85	85	115	NE
Vt 151-155	130	70	70	115	NE
Vt 161-165	130	55	55	115	NE
Vt 171-175	130	62,5	62,5	115	NE
Vt 181-185	123,5	62,5	62,5	115	NE
Vt 191-195	123,5	62,5	62,5	120	NE
Vt 211-215	123,5	62,5	66	115	NE
Vt 221-225	120	62,5	66	115	NE
Vt 231-235	117,5	62,5	66	115	NE
Vt 241-245	119	60	66	115	NE
Vt 251-255	119	57,5	66	117,5	NE
Vt 261-265	119	57,5	66	116	NE
Vt 271-275	120	58,5	67	116	NE
Vt 281-285	121	58,5	67	116	NE
Vt 291-295	121	59,5	67	116	NE
Vt 301-305	121	60,5	67	116	NE
Vt 401-405	123	61,5	68,1	117,9	ANO
Vt 411-415	125	62,5	69,2	119,8	NE

Obrázky jednotlivých vzorků



Vzorek Vt 001



Vzorky Vt 021 - 025



Vzorky Vt 031 - 035



Vzorky Vt 041 - 045



Vzorky Vt 051 - 055



Vzorky Vt 061 - 065



Vzorky Vt 071 - 075



Vzorky Vt 101 -105



Vzorky Vt 111 - 115



Vzorky Vt 121 - 125



Vzorky Vt 131 -135



Vzorky Vt 141 - 145



Vzorky Vt 151 - 155



Vzorky Vt 161 - 165



Vzorky Vt 171 - 175



Vzorky Vt 181 - 185



Vzorky Vt 191 - 195



Vzorky Vt 211 - 215



Vzorky Vt 221 - 225



Vzorky Vt 231 - 235



Vzorky Vt 241 - 245



Vzorky Vt 251 - 255



Vzorky Vt 261 - 265



Vzorky Vt 271 - 275



Vzorky Vt 281 - 28



Vzorky Vt 291 - 295



Vzorky Vt 301 - 305



Vzorky Vt 401 - 405



Vzorky Vt 411 -415

Příloha 3

Nastavení zpoždění otevření ventilu s předvýfukovým vzduchem

Tabulka 3 - nastavení zpoždění otevření ventilu s předvýfukovým vzduchem		
Vzorky	tz (s)	Optimální nastavení
Vz 001 -005	0.00	NE
Vz 011 -015	0.02	NE
Vz 021 -025	0.04	NE
Vz 031 -035	0.06	NE
Vz 041 -045	0.08	NE
Vz 051 -055	0.10	NE
Vz 061 - 065	0.12	NE
Vz 071 -075	0.14	NE
Vz 081 - 085	0.16	NE
Vz 091 -095	0.18	NE
Vz 101 - 105	0.20	NE
Vz 111 - 115	0.22	NE
Vz 121 -125	0.24	NE
Vz 131 - 135	0.26	NE
Vz 141 -145	0.28	NE
Vz 151 - 155	0.23	ANO

Obrázky jednotlivých vzorků



Vzorky Vz 001 - 005



Vzorky Vz 011 - 015



Vzorky Vz 021 - 025



Vzorky Vz 031 - 035



Vzorky Vz 041 - 045



Vzorky Vz 051 - 055



Vzorky Vz 061 - 065



Vzorky Vz 071 - 075



Vzorky Vz 081 - 085



Vzorky Vz 091 - 095



Vzorky Vz 101 - 105



Vzorky Vz 111 - 115



Vzorky Vz 121 - 125



Vzorky Vz 131 - 135



Vzorky Vz 141 - 145



Vzorky Vz 151 - 155

Příloha 4

Nastavení doby chlazení

Tabulka 4 - nastavení doby chlazení		
Vzorky	tch (s)	Optimální nastavení
Vc 001 - 005	0.1	NE
Vc 011 - 015	0.3	NE
Vc 021 - 025	0.5	NE
Vc 031 - 035	0.7	NE
Vc 041 - 045	0.9	NE
Vc 051 - 055	1.1	NE
Vc 061 - 065	1.3	NE
Vc 071 - 075	1.5	NE
Vc 081 - 085	1.7	NE
Vc 091 - 095	1.4	NE
Vc 101 - 105	1.45	ANO

Obrázky jednotlivých vzorků



Vzorky Vc 001 -005



Vzorky Vc 011 - 015



Vzorky Vc 021 - 025



Vzorky Vc 031 - 035



Vzorky Vc 041 - 045



Vzorky Vc 051 - 055



Vzorky Vc 061 - 065



Vzorky Vc 071 - 075



Vzorky Vc 081 - 085



Vzorky Vc 091 - 095



Vzorky Vc 101 - 105

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. O právu autorském, zejména §60 školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL, v tom případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 28. března 2013

Podpis:

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act no. 121/2000 Coll applies to my thesis in full, in particular Section 60, School work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering to my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL

If i use this thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that i must inform TUL of this fact, in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of acknowledged sources and on the basis of consultation with head of the thesis and konsultant

Date: 28. března 2013

Signature: